

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka insinööri

2023

Mari Nahkala

# Ekolattiabetonin kuivumiskutistuma



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

2023 | 33 sivua

Mari Nahkala

## Ekolattiabetonin kuivumiskutistuma

- Swerock Oy

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on testata ja selvittää ekolattiabetonin kuivumiskutistumaa sekä verrata sitä normaalin lattiabetonin kuivumiskutistumaan. Ekobetonin hiilidioksidipäästöt ovat pienemmät, kuin normaalin betonin. Työn toimeksiantajana toimii Swerock Oy, joka on lanseerannut oman ECO-betoni™ laadun keväällä 2022. Aihe opinnäytetyöhön syntyi, kun työmailta esitettiin kysymyksiä ekolattiabetonin kutistumasta.

Tutkimuksessa tutkittiin kahta eri ekolattiabetonia ja yhtä normaalia lattiabetonia. Jokaisesta betonilaadusta valmistettiin kaksi kutistumapalkkia sekä kuusi puristuslujuuskoekappaletta. Kolmeen puristuslujuus kappaleeseen sijoitettiin lämpötila-anturi seuraamaan tutkimuksen aikaista lämmönkehitystä.

Tutkimuksessa saadut tulokset täyttivät lattiabetoneille yleisesti asetetut vaatimukset. Verrattaessa betonilaatujen tuloksia keskenään, olivat erot hyvin pieniä.

Asiasanat:

betoni, ECO-betoni, kutistuma, masuunikuonajauhe

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Bachelor of Civil Engineering

2023 | 33

Mari Nahkala

## Drying shrinkage of low-carbon footprint floor concrete

- Swerock oy

The objective of this thesis was to test and study the drying shrinkage of low-carbon footprint floor concrete and compare it to the drying shrinkage of normal floor concrete. The principal of this thesis is Swerock Oy which launched their own low-carbon concrete brand in the spring of 2022. The idea for this thesis emerged when questions about the drying shrinkage of low-carbon footprint floor concrete arose on site.

The study utilized two different kinds of low-carbon footprint floor concrete and one normal floor concrete. Two shrinkage bars and six compression strength samples were made from each concrete quality. A temperature sensor was placed into three of the samples to monitor the evolvment of heat during the study.

The test results showed that the required quality for the shrinkage values were met. While comparing the test results among each other, one can notice that the differences were minuscule.

Keywords:

Concrete, eco-concrete, shrinkage, blast-furnace cinder

# Sisältö

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
1.1 Työn lähtökohdat	7
1.2 Toimeksiantaja	8
<b>2 BETONI</b>	<b>9</b>
2.1 Yleisesti	9
2.2 Sementti	9
2.3 Masuunikuonajauhe	10
2.4 Kiviainekset	10
2.5 Vesi	11
2.6 Seosaineet	12
2.7 Lisäaineet	12
<b>3 EKOBETONI</b>	<b>14</b>
<b>4 VÄHÄHIILISYYSLUOKITUS</b>	<b>15</b>
4.1 Mikä on BY-vähähiilisyysluokitus	15
4.2 Vähähiilisyysluokituksen periaatteet	15
<b>5 BETONIN KUTISTUMA JA SEN MITTAAMINEN</b>	<b>17</b>
5.1 Betonin kutistuma yleisesti	17
5.2 Kuivumiskutistuma	17
5.3 Plastinen kutistuma	18
5.4 Autogeeninen kutistuma	19
5.5 Kemiallinen kutistuma	20
5.6 Kuivumiskutistuman mittaaminen	20
<b>6 KUTISTUMAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT</b>	<b>21</b>
6.1 Yleisesti	21
6.2 Ympäristöolosuhteet	21
6.3 Sementin vaikutus kuivumiskutistumaan	22
<b>7 LABORATORIOKOKKEET JA TULOKSET</b>	<b>24</b>

7.1 Laboratoriokokeet	24
7.2 Tulokset	25
<b>8 PÄÄTELMÄT</b>	<b>29</b>
<b>Lähteet</b>	<b>30</b>

## **Liitteet**

Liite 1. Lämpötilaraportti

## **Kuvat**

Kuva 1 Plastisen kutistuman syntymekanismi (Suomen Betoniyhdistys, 2018)	19
Kuva 2 GWP70 ja GWP85 kutistumapalkit muoteissa	24

## **Taulukot**

Taulukko 1. BY-Vähähiilisyysluokitus (Suomen Betoniyhdistys, n.d.)	16
Taulukko 2. Referenssitason tulokset.	26
Taulukko 3. GWP85 tulokset.	26
Taulukko 4. GWP70 tulokset.	26
Taulukko 5 Lujuuden ja kutistuman kehitys	28

## Käytetyt lyhenteet

GWP	Global warming potential. Lämmityspotentiaali, sen mitta, miten paljon lämpöenergiaa sitoutuu ilmakehään. (Wikipedia, 2022)
Kutistuma	Määrä, jonka betoni on kutistunut tietyssä ajassa (suomisanakirja, n.d.)
Plastinen	Tuore, muokattavissa oleva olomuoto
Portlandseossementti	Sementti, joka sisältää klinkkerin lisäksi seosaineita (Betonitieto, n.d.)
Suhteellinen kosteus	Kertoo, paljonko vettä on sitoutunut ympäröivään ilmaan suhteessa siihen kuinka paljon ilma voi sisältää vettä ympäröivässä lämpötilassa. (Tekeville, n.d.)

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn lähtökohdat

Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen rakennetussa ympäristössä on noussut tärkeäksi tavoitteeksi, jotta ilmastonmuutosta voidaan hidastaa. Euroopan unionin tavoitteena on olla ilmastoneutraali vuoteen 2050 mennessä (Eurooppa-neuvosto n.d.).

Betoni on maailman käytetyin rakennusmateriaali. Betonin valmistamisesta syntyy suuret hiilidioksidipäästöt. Suurimmat hiilidioksidipäästöt syntyvät kalkkikiven polttamisesta, kun valmistetaan sementtiä. Nykyään ekobetoneissa on korvattu osa sementistä vaihtoehtoisilla seosaineilla, kuten masuunikuonajauheella, silikalla tai lentotuhkalla. Kyseiset vaihtoehtoiset seosaineet syntyvät muun teollisuuden sivuvirtoina. Suomessa betonin valmistukseen käytettävien seosaineiden tulee olla CE-merkittyjä. Tutkittavassa ECO-betoni™ laadussa sementtiä korvaava seosaine on masuunikuonajauhe.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ekolattiabetonin kuivumiskutistumaa ja verrata sitä normaalin lattiabetonin kuivumiskutistumaan laboratorio-olosuhteissa. Ekolattiabetoneissa osa sementistä on korvattu vaihtoehtoisella sideaineella, kuten masuunikuonajauheella. Kuivumiskutistumaa tutkitaan valmistamalla yhteensä kuusi kappaletta kutistumapalkkeja, jokaisesta betonilaadusta kaksi kappaletta. Työn toimeksiantajana toimii Swerock Oy.

Ekobetonit on luokiteltu vähähiilisyysluokituksen mukaan. Vähähiilisyysluokitus on tapa esittää betonilaatujen hiilidioksidipäästöjä. Tässä opinnäytetyössä tutkittavien ekolattiabetonien vähähiilisyysluokiksi valittiin GWP85 sekä GWP70. GWP-tunnus tulee sanoista Global Warming Potential. (BY Vähähiilisyysluokitus n.d.). Suomessa BY-Vähähiilisyysluokituksesta vastaa Suomen Betoniyhdistys ry.

## 1.2 Toimeksiantaja

Työn toimeksiantajana toimii Swerock Oy, joka kuuluu Peab-konserniin. Swerockin toimialoina ovat valmisbetoni ja kiviaines. Swerockilla on Suomessa yhteensä kahdeksan valmisbetoniasemaa. (Swerock, n.d.) Jokaiselta valmisbetoniasemalta löytyy vähähiilisen betonin valmistuksen sertifikaatti. Swerock Oy on lanseerannut oman ECO-betonilaadun™ keväällä 2022.

Idea opinnäytetyöhön syntyi työmailta tulleiden kyselyiden pohjalta. Tämän lisäksi kuivumiskutistuman selvittäminen on olennaista, jotta voidaan valita oikeanlaiset jälkihoitomenetelmät valun jälkeen. Oikeanlaisilla jälkihoitomenetelmillä voidaan pienentää kuivumiskutistumasta aiheutuvan halkeilun riskiä. Sen lisäksi kutistumamittaukset lisäävät tietämystä betonilaatujen käyttäytymisestä. Tietämyksen lisääntyessä, voidaan muokata betonin koostumusta niin, että voidaan minimoida mahdollisia kutistumaan vaikuttavia ominaisuuksia.



## 2 BETONI

### 2.1 Yleisesti

Betoni on maailman käytetyin rakennusmateriaali. ”Betonia valmistetaan vuosittain noin 13 miljardia kuutiometriä.” (Betoni, n.d.) Betonin suosio perustuu sen hyviin lujuusominaisuuksiin, turvallisuuteen, kosteuden sietokykyyn, muokattavuuteen sekä edulliseen hintaan. Pääsääntöisesti betoni koostuu kiviaineksesta, sementistä ja vedestä. Näiden lisäksi betonin valmistukseen käytetään seos- ja lisäaineita, joilla voidaan vaikuttaa niin tuoreen betonimassan kuin kovettuneen betonin ominaisuuksiin. (Suomen betoniyhdistys 2018, 60).

### 2.2 Sementti

Sementti on betonin tärkein sideaine. Sementti on jauhemainen hydraulinen sideaine, joka reagoi vedessä muodostaen niin sanotun sementtipastan. Kuivuessaan se kovettuu ja kehittyy lujaksi materiaaliksi. Sementin pääraaka-aineena on kalkkikivi. Kalkkikivi louhitaan, murskataan ja lajitellaan ennen raakajauhatusta. (Finnsementti, n.d.) Sementin valmistukseen tarvitaan kalkkikivestä saatavan kalsiumkarbonaatin lisäksi piioksidia ( $\text{SiO}_2$ ), rautaoksidia ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ja alumiinioksidia ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Näitä saadaan kalkkivilouhoksen sivukivistä sekä muun teollisuuden sivutuotteena. (Finnsementti, n.d.)

Sementtiklinkkeri valmistetaan kiertoilmauunissa. Uunin lämpötilaa nostetaan hitaasti noin  $+1400\text{ °C}$ :seen. Lämmön noustessa, jauhe sulaa osittain, jolloin muodostuu klinkkerimineraalit. Uunin loppupäässä lämpötila lasketaan nopeasti  $275\text{ °C}$ :seen ja sen jälkeen klinkkeri varastoidaan odottamaan jatkokäyttöä. Sementti jauhetaan kuulamylyssä jauheeksi. Samalla sementin joukkoon voidaan lisätä mahdollisia seosaineita, kuten masuunikuonaa, lentotuhkaa tai kalkkikiveä. (Suomen betoniyhdistys 2018, 24)

Betonin valmistuksessa käytettävien sementtien tulee olla CE-merkittyjä, sekä täyttää standardin SFS-EN 197-1 vaatimukset. Kyseinen standardi määrittelee sementtien koostumusta, laatuvaatimuksia sekä vaatimustenmukaisuutta.

### 2.3 Masuunikuonajauhe

Masuunikuonajauhe on raakaraudan valmistuksessa syntyvä sivutuote. Masuunikuonan raekoko on suunnilleen sama kuin sementillä tai hieman karkeampi. (Suomen Betoniyhdistys, 2018) Masuunikuonan käytöllä betonissa voi olla vaikutusta sen notkeuteen, sillä masuunikuonan vedentarve on pienempi kuin sementin.

Masuunikuonalla voidaan vaikuttaa betonin lämmönkehitykseen esimerkiksi suurissa rakenteissa, koska masuunikuona vähentää betonin hydrataatiolämpöä. Masuunikuonaa käytettäessä on huomioitavaa, että masuunikuonabetonin varhaislujuudet ovat normaalia alhaisemmat, mutta loppulujuudet ovat yleensä normaalibetonia korkeammat. Masuunikuonan käyttö kylmissä olosuhteissa voi olla haastavaa, sillä sen lujuudenkehitys hidastuu kylmissä olosuhteissa, mutta kiihtyy lämpötilan noustessa.

### 2.4 Kiviainekset

Betonin tilavuudesta noin 65–80 % on kiviainesta. (Betonitieto, n.d.) Kiviaineesta käytetään yleisesti nimitystä betonin runkoaine. Kiviaineksen ominaisuuksilla on suuri merkitys betonin ominaisuuksiin. Jotta kiviaines soveltuu betonin runkoainekseksi, se ei saa sisältää epäpuhtauksia, kuten lietettä, savea tai humusta.

Betonissa käytettävän kiviaineksen tulee olla CE-merkittyä sekä täyttää betoninkiviaineksia käsittelevän standardin SFS-EN 12620 vaatimukset. Betonin valmistaja voi käyttää myös omaa kiviainesta, joka ei ole CE-merkittyä, mutta tällöin edellytetään, että kiviaineksen laatua valvotaan SFS-EN 12620

standardin mukaisesti. Betonin valmistukseen voidaan käyttää luonnonkiviainesta tai murskattua kiveä.

Lattiabetoneissa käytettävillä kiviaineksilla ei ole erillisiä laatuvaatimuksia normaalibetoneihin verrattuna. Tavoitteena on, että betonin vedentarve on mahdollisimman alhainen, joka on mahdollista kiviainesmäärää lisäämällä. Mitä alhaisempi vedentarve on, sitä pienempi on betonin kuivumiskutistuma. Valitulla työmenetelmällä sekä betonin siirtotavalla on vaikutusta siihen, mikä on soveltuvin hienoaineksen sekä karkean kiviaineksen määrä betonissa. Kiviaineksen raemuodolla sekä maksimiraekoolla on suuri vaikutus betonin työstettävyyteen.

Lattiabetoneissa kulmikas ja karhea kiviaines on parempi valinta kulutuskestävyyden kannalta, kuin pyöreä ja sileä kiviaines. Kuitenkaan kiviaineksella ei ole suuria vaikutuksia betonilattioiden kulutuskestävyyteen, sillä pääasiassa betonilattioiden pinta koostuu sementtipastasta sekä hienommasta kiviaineksesta.

## 2.5 Vesi

Betonin valmistamiseen tarvitaan vettä. Veden soveltuvuus betonin valmistukseen määritellään yleensä sen alkuperän mukaan. Vesi voidaan luokitella alkuperänsä mukaan seuraavasti: talousvesi, betoniteollisuuden prosesseista talteen otettu vesi, pohjavesi, luonnon pintavesi ja teollisuuden jätevesi, merivesi tai murtovesi, viemäriveresi. (SFS-EN 1008, 2002)

Betonin valmistuksessa talousvettä voidaan käyttää sellaisenaan ilman testausta. Lisäksi voidaan käyttää niin sanottua kierrätysvettä eli betoniteollisuuden prosesseista talteen otettua vettä. Kierrätysveden soveltuvuus tulee kuitenkin varmistaa ennen käyttöä. (Suomen betoniyhdistys, 2018, 59) Valmistuksessa käytettävä vesi ei saa sisältää epäpuhtauksia, kuten levää tai pieneliöitä.

Veden haitallisia epäpuhtauksia ovat sokerit, fosfaatit, nitraatit, lyijy ja sinkki. (Betonitieto, n.d.) Betonin valmistukseen käytettävän veden tulee täyttää edellä mainituille aineille asetetut raja-arvot. Näiden raja-arvojen lisäksi veden tulee täyttää kloridi-, sulfaatti- ja alkalipitoisuuksille asetetut vaatimukset.

## 2.6 Seosaineet

Betonin seosaineilla tarkoitetaan osa-ainetta, jota käytetään korvaamaan sementtiä tai parantamaan betonin ominaisuuksia. Seosaineet ovat yleisimmin koostumukseltaan hienojakoisia ja jauhemaisia. Tällaisia seosaineita ovat esimerkiksi masuunikuonajauhe, silika ja lentotuhka. Suomessa käytettävät seosaineet ovat CE-merkittyjä.

Betonissa käytettävät seosaineiden enimmäismäärät ovat yhteydessä käytettävän sementin seosainemäärään sekä betonirakenteelle asetettuun rasitusluokkaan. Kun sementistä korvataan osa seosaineilla, voidaan saavuttaa taloudellista hyötyä sekä nähdä se positiivisena myös ympäristön kannalta. Seosaineet ovat yleisimmin teollisuuden sivuvirtoina syntyneitä tuotteita, jolloin mahdolliset sementin valmistuksesta aiheutuvat CO<sub>2</sub>-päästöt jäävät pienemmiksi.

## 2.7 Lisäaineet

Betonin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa myös lisäaineilla. Lisäaineilla pystytään vaikuttamaan sekä tuoreen että kovettuneen betonin ominaisuuksiin. Kuten seosaineidenkin, niin myös lisäaineiden tulee olla CE-merkittyjä. Lisäaineiden tarkoituksena on parantaa betonin teknisiä ominaisuuksia ja taloudellista kilpailukykyä. Lisäaineet voivat olla joko jauhemaisia tai nestemäisiä. (Hanses, 2015)

Tyypillisimpiä lisäaineita ovat notkistimet, huokostimet ja kiihdyttimet. Nämä lisäaineet kuuluvat standardin SFS-EN 934-1 soveltamisalaan. Tämän lisäksi betoniin voidaan käyttää lisäaineita, jotka eivät kuulu lisäainestandardin piiriin.

Jos lisäaineet eivät kuulu lisäainestandardin piiriin, tulee lisäaineen valmistajan osoittaa lisäaineen kelpoisuus varmennustodistuksella. Varmennustodistuksen voi myöntää ympäristöministeriön hyväksymä toimitus, joko tuotteen jatkuvan varmentamisen tai toimituseräkohtaisten näytetarkastusten perusteella. (Betoniyhdistys, 2018) Tällaisia lisäaineita ovat esimerkiksi paisuttimet, pakkasbetonin lisäaineet ja kutistumista estävät aineet.

Lisäaineiden vaikutustapa on joko fysikaalinen tai kemiallinen. (Suomen betoniyhdistys 2018, 60) Lisäaineiden käytöllä voi olla myös mahdollisia sivuvaikutuksia. Lisäaineiden oikeanlaiseen toimintaan vaikuttavat oikeanlaiset seossuhteet, mahdolliset muut käytetyt lisäaineet, sementin laatu ja sekoittimen toiminta.

Lattiabetoneissa lisäaineiden käyttö perustuu yleensä kokemukseen sekä ennakkokokeista saatuihin tuloksiin. Yleisimmin käytettyjä lisäaineita ovat huokostimet ja notkistimet. Lattiabetoneissa voidaan myös käyttää kutistumaa kompensoivia (SCC-aineet) tai kutistumaa vähentäviä (SRA-aineet) lisäaineita. Kutistumaa kompensoivat lisäaineet vaikuttavat betonin tilavuuteen niin, että kun lujuus kehittyy niin betonin tilavuus kasvaa. Kutistumaa kompensoivia lisäaineita käytettäessä tulee pitää huolta, että betoni pinta on pidettävä märkänä. Kutistumaa vähentäviä lisäaineita voidaan sekoittaa joko betonimassaan tai levittää betonin pinnalle vasta valun jälkeen. (Suomen betoniyhdistys 2018, 142)

### 3 EKOBETONI

Betoni on maailman käytetyin rakennusmateriaali ja samalla sen hiilidioksidipäästöt ovat suuret. Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen rakennetussa ympäristössä on nykypäivänä tärkeä tavoite, joten on myös syntynyt tarve kehittää vähäpäästöisempiä betonilaatuja. Ekobetonilaatujen tavoitteena on vähentää betonin hiilidioksidipäästöjä, vaikuttamatta kuitenkaan sen lujuuteen, työstettävyyteen tai säilyvyyteen. (Lahdensivu, 2022)

Ekobetoneissa hiilijalanjäljen suuruus voidaan määrittellä vähähiilisyydenluokituksen mukaan. Ekobetonin hiilidioksidipäästöt voivat olla jopa 50% pienemmät, kuin tavallisessa betonissa. (Swerock, n.d.) Swerock Oy:n ECO-betonissa osa sementistä on korvattu masuunikuonajauheella, jota saadaan teollisuuden sivuvirtoina. Masuunikuonalla voidaan vaikuttaa betonin käyttö- sekä loppuominaisuuksiin. (Swerock, 2022)

## 4 VÄHÄHIILISYYSLUOKITUS

### 4.1 Mikä on BY-vähähiilisyysluokitus

”By-Vähähiilisyysluokitus on vapaaehtoinen, kansallinen luokitus betonin CO<sub>2</sub>-päästöjen ilmoittamiseksi.” (By-vähähiilisyysluokitus n.d.) Vähähiilisyysluokitus on tuotemerkistä riippumaton, mutta yhtenäinen tapa kuvata betonilaadun vähähiilisyttä. Vähähiilisyysluokitus on yhdenmukainen betonin lujuusluokkien kanssa. By-vähähiilisyysluokituksella betonilaadut luokitellaan hiilidioksidipäästöjen suuruuden mukaan ja se on betoniresepti- ja betoniasemakohtainen. (Suomen betoniyhdistys, 2022) By-Vähähiilisyysluokituksen tarkoituksena on myös helpottaa betonin valintaa. By-vähähiilisyysluokituksen käyttö edellyttää sertifiointia. (Suomen betoniyhdistys, 6-2022)

### 4.2 Vähähiilisyysluokituksen periaatteet

”Vähähiilisyysluokkien tunnuksset merkitään muotoon GWP.NN. Tunnuksessa lyhenne GWP tulee sanoista Global warming potential.” Tunnuksen jälkimmäinen osa kertoo betonilaadun päästötason verrattuna referenssitason. GWP70 tunnus tarkoittaa, että kyseisen betonilaadun hiilidioksidipäästöt ovat 70 % referenssitasosta. ”Referenssitaso vastaa vuoden 2021 keskimääräistä päästötasoa valmisbetonituotannossa.” (BY vähähiilisyysluokitus, n.d.) Tällä hetkellä vähähiilisyysluokituksessa on viisi eri vähähiilisyysluokkaa sekä kuusitoista betonilaatua, jotka on esitetty taulukossa 1.

Betoni	GWP.Ref	GWP.85	GWP.70	GWP.55	GWP.40
C20/25 - Ei huokostettu	210	180	145	115	85
C25/30 - Ei huokostettu	230	195	160	125	90
C30/37 - Ei huokostettu	255	215	180	140	100
C35/45 - Ei huokostettu	285	240	200	155	115
C45/55 - Ei huokostettu	320	270	225	175	130
C50/60 - Ei huokostettu	340	290	240	185	135
C30/37 - Huokostettu	290	245	205	160	115
C35/45 - Huokostettu	330	280	230	180	130
C45/55 - Huokostettu	375	320	265	205	150
C50/60 - Huokostettu	395	335	275	215	160
C30/37 P0	270	230	190	150	110
C30/37 P30	300	255	210	165	120
C35/45 P0	300	255	210	165	120
C35/45 P30	330	280	230	180	130
C35/45 P50	340	290	240	185	135
C45/55 P50	375	320	265	205	150

Taulukko 1. BY-Vähähiilisyysluokitus (Suomen Betoniyhdistys, n.d.)

Valmisbetonin päästöt lasketaan reseptin perusteella, laskuissa huomioidaan sideaineet, kiviainekset, lisäaineet sekä vesi. Laskuissa on huomioituna myös raaka-aineiden kuljetukset betonitehtaalalle. Myös valmistuksessa tarvittava sähkö- sekä lämmitysenergia on huomioitu (By vähähiilisyysluokitus, 2022) Vähähiilisyysluokituksella ei ole vaikutuksia valmisbetonitehtaan normaaliin laadunvalvontaan, eikä se edellytä tekemään ekobetoneista omia ennakkokokeita. Tehtaiden on kuitenkin valvottava, että myös vähähiilisyysluokiteltuja betonireseptejä testataan.

Vähähiilisyysluokitusta käytettäessä on tärkeää huomioida, että myös betonille asetettujen laatuvaatimusten tulee täytyä, kuten esimerkiksi lujuus sekä säilyvyys. Vähähiilisellä betonilla saattaa olla vaikutusta myös esimerkiksi betonin lujuudenkehityksen nopeuteen.



## 5 BETONIN KUTISTUMA JA SEN MITTAAMINEN

### 5.1 Betonin kutistuma yleisesti

Betonin kutistumisella tarkoitetaan betonin tilavuuden muutosta. Tilavuuden muutos, joka voi olla seurausta joko veden haihtumisesta, lämpötilan muutoksista tai kemiallisesta reaktiosta betonirakenteessa. Varhaisvaiheen kutistumaa kutsutaan plastiseksi kutistumaksi ja kovettuneen betonin kutistumaa kuivumiskutistumaksi. Betonin varhaisvaiheen kutistuminen tapahtuu yleensä 0–2 vuorokauden aikana.

Betonin kutistuma voidaan jaotella seuraavasti; kemiallinen kutistuma, plastinen kutistuma, kuivumiskutistuma ja autogeeninen kutistuma. (Hirschi et al., 2020) Betonin kutistumista lisääviä tekijöitä ovat vesimäärän ja hienoainesmäärän lisääminen, betonin huokostaminen, ympäristön kuivuus ja kevytsoran käyttö. (Betonitieto, n.d.) Tässä opinnäytetyssä keskitytään pääosin betonin kuivumiskutistumaan ekolattiabetonissa.

### 5.2 Kuivumiskutistuma

Kuivumiskutistuma on kovettuneessa betonissa tapahtuva tilavuuden muutos. Kuivumiskutistuma tapahtuu, kun sementtikiven huokosissa ollut vesi poistuu ja sen seurauksena kiinteät aineet pakkautuvat lähemmäs toisiaan, joten sementtikiven ja betonin tilavuus pienenevät. (Betonitieto, n.d.)

Kuivumiskutistumaan vaikuttavat betonin vesisementtisuhde, käytetyn veden määrä, seosaineiden määrä sekä betonirakenteen koko ja ympäristön olosuhteet betonin kuivumiselle. Betonirakenteen koolla ja muodolla, sekä vallitsevilla olosuhteilla on suuri vaikutus siihen, kuinka nopeasti kosteus pääsee poistumaan rakenteesta. Kosteus alkaa poistua rakenteesta välittömästi, kun ympärillä olleet muotit ja suojaukset poistetaan.

Rakenteiden kutistumaa ja halkeiluriskiä arvioitaessa määritetään peruskutistuma, joka on yleensä 0,4...1,2 mm/m. Tavanomaisissa rakenteissa käytettävä kuivumiskutistuma on yleensä 0,5...0,7 mm/m (Suomen betoniyhdistys, 2018, 75, Betonitieto, n.d.) Kuivumiskutistuma on yleensä suurempi ohuemmissa rakenteissa kuin massiivisissa rakenteissa.

Jos betonirakenne ei pääse kutistumaan vapaasti, syntyy halkeamia. Erityisesti lattiabetoneissa on tärkeää, että halkeamia ei pääse syntymään. Jos rakenteelle ei kuitenkaan pystytä mahdollistamaan normaalia kutistumatasoa, tulisi tällöin huolehtia erityistoimista, joilla estetään kutistuman aiheuttamat halkeilut. Betonin kuivuminen on hidas prosessi, joten kuivumiskutistuman aiheuttamia halkeamia voi syntyä vielä pitkän ajan kuluessakin.

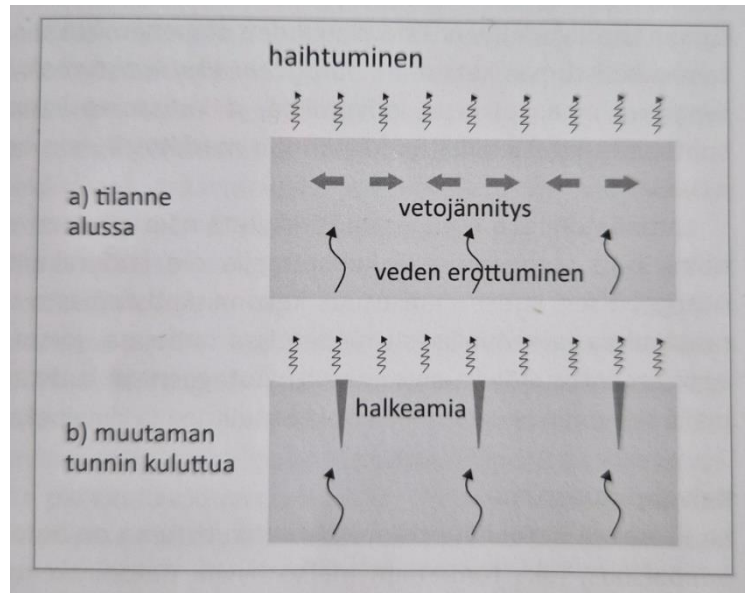
Betonin jälkihoidolla ei juuri ole vaikutusta kuivumiskutistuman lopulliseen suuruuteen. Mikäli rakenne kuivuu liian nopeasti ja käytetään mahdollisia mekaanisia kuivatusmenetelmiä, kuten lämmittimiä, saattaa rakenteen lopullinen kuivumiskutistuma kasvaa.

### 5.3 Plastinen kutistuma

Plastinen kutistuma on kutistumaa, jota tapahtuu betonin ollessa tuoretta ja kun betonin pinnalla olevan veden määrä on suurempi kuin betonin sisältä erottuva veden määrä. Plastinen kutistuma tapahtuu yleensä muutaman tunnin sisällä valun jälkeen. Plastisen kutistuman maksimi raja-arvot ovat 0...5 mm/m.

Plastinen kutistuma syntyy, kun betoni on vielä tuoretta, betonissa oleva vesi haihtuu ja betonin pinta kuivuu. Tämän seurauksena pinnan läheisyydessä olevat sementtihiukkasten välille alkaa muodostua kaarevia vesipintoja. Pinnalle muodostuu niin kutsuttu kalvojännitys, joka on seurausta veden pintajännityksen ja veden sekä sementtihiukkasten välisestä vetovoimasta. Tämän reaktion seurauksena betoni kutistuu. Kun taas betonimassan sisältämät osa-aineet, kuten kiviaines ja sementtihiukkaset, eivät pysty enää liikkumaan muodostuneiden kitkavoimien vuoksi, rakenteen pintaan muodostuu vetojännityksiä. Vetojännitysten seurauksena betonirakenteeseen muodostuu

halkeamia. (Suomen betoniyhdistys 2018, 77) Syntymekanismi on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1 Plastisen kutistuman syntymekanismi (Suomen Betoniyhdistys, 2018)

Ekolattiabetoneissa plastisella kutistumalla saattaa olla merkittävämpi vaikutus, kuin tavallisissa lattiabetoneissa, sillä masuunikuonaa sisältävien betonien sitoutumisreaktio on hitaampi. Tässä opinnäytetyössä valittiin pääaiheeksi betonien välisten kuivumiskutistumaerojen mittaaminen ja tutkiminen.

#### 5.4 Autogeeninen kutistuma

Autogeeninen kutistuma on betonin sisäistä kutistumaa. Autogeeninen kutistuma on seurausta sementin hydratoitumisesta, joten sitä ei voida kokonaan poistaa. Kun sementti ja vesi reagoivat keskenään, syntyy sementtikiveä. Sementtikiven tilavuus on pienempi, kuin veden ja sementin alkuperäinen tilavuus. Autogeenistä kutistumaa tapahtuu, vaikka betoni ei ulkoisesti kutistuisikaan. Autogeeninen kutistuma on sitä suurempi, mitä pienempi betonin vesi-sementtisuhte on. Halkeiluriski kasvaa, kun betonin vesi-

sementtisuhte laskee alle 0,45. Lattiarakenteiden kannalta autogeenisellä kutistumalla ei yleensä ole merkitystä.

### 5.5 Kemiallinen kutistuma

Betonin kemiallista kutistumaa tapahtuu niin tuoreessa kuin kovettuneessa betonissa. Kemiallinen kutistuma on sementtipastassa tapahtuva absoluuttinen muutos. Kemiallinen ja autogeeninen kutistuma ovat samoja ensimmäisten tuntien ajan.

### 5.6 Kuivumiskutistuman mittaaminen

Betonin kutistuman määrittämiseen ei ole olemassa yleistä standardia. Peruskutistuma voidaan kuitenkin hyvin usein määrittää melko tarkasti, kun betonin tarkka koostumus on tiedossa. Betonin kutistuman mittaamiseen on kuitenkin olemassa yleisiä tapoja, kuten kutistumapalkkikoe. Kutistumapalkkikokeessa koekappaleiden muotteina käytetään  $100 \times 100 \times 500 \text{ mm}^3$  muotteja. Kovettuneita betonipalkkeja säilytetään  $\pm 20 \text{ °C}$  lämpötilassa ja suhteellisessa kosteudessa  $\text{RH } 50 \pm 5 \%$ . Kutistuma mitataan palkkien päistä, erikseen määriteltynä ajankohtina, esimerkiksi 28 ja 56 vuorokauden kohdalla (Suomen betoniyhdistys 2016, 40)

## 6 KUTISTUMAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

### 6.1 Yleisesti

Betonin kuivumiskutistumaan vaikuttavat tekijät voidaan jakaa ulkoisiin ja sisäisiin tekijöihin. Ulkoisiin tekijöihin kuuluvat ympäristön olosuhteet, betonirakenteen koko ja muoto sekä jälkihoito. (Suomen Betoniyhdistys, 2016) Myös betonin rauditus voidaan ajatella ulkoisena tekijänä.

Sisäisiin tekijöihin taas kuuluvat sementti, kiviaines, sementtipastan määrä, seosaineet, mahdollinen notkistimien ja huokostimien käyttö, kutistumaan vaikuttavat lisäaineet, paisuttimet tai esimerkiksi kuitujen käyttö betonissa. Eli toisin sanoen, betonin suhteitukseen liittyvät asiat kuuluvat sisäisiin tekijöihin.

### 6.2 Ympäristöolosuhteet

Betonin kuivumisolosuhteilla tarkoitetaan betonin kuivumisympäristöä. Ympäristöolosuhteita ovat ilman lämpötila, suhteellinen kosteus ja ilmavirrat. Betonirakenteen kosteuden poistuminen on hidas prosessi. Betonirakenne pyrkii saavuttamaan ympäristöönsä vastaavan suhteellisen kosteuden. Massiivisilla rakenteilla tähän voi kulua useita vuosia tai joskus rakenne ei saavuta ympäristön suhteellista kosteutta koskaan.

Kuivumiskutistumaan vaikuttaa paljon ympäröivän ilman kuivuus. Kuivumiskutistuman suuruus kasvaa sen mukaan, mitä kuivempaa ympäröivä ilma on. Jos ympäristön suhteellinen kosteus on 50% on kuivumiskutistuma 30-40% suurempaa, kuin 70% suhteellisessa kosteudessa. Ilmavirtauksilla ei ole suoranaisesti vaikutusta betonin kuivumiskutistumaan, sillä betonin kuivumisnopeuden määrittelee diffuusio rakenteen sisältä rakenteen pinnalle (Suomen betoniyhdistys, 2018) Jos kosteus poistuu rakenteesta liian nopeasti, on seurauksena halkeilua.

Kutistumasta aiheutuvien haittojen vähentämiseksi betonimassalle sopiva lämpötila on noin +15...20 °C. Mikäli betonimassan lämpötila nousee korkeammaksi, lisääntyy vedentarve, jotta massa säilyy työstettävänä riittävän pitkään. Erityisesti rakenteen valuolosuhteisiin tulee myös kiinnittää huomiota.

Ympäristön olosuhteilla on vaikutusta betonirakenteen jälkihoitotarpeisiin, jotta rakenteen mahdollista plastista kutistumaa voidaan hallita parhaalla mahdollisella tavalla. Kuumana ja aurinkoisena päivänä betonin sitoutumisreaktio käynnistyy nopeammin, kuin viileänä ja pilvisenä päivänä. Suora auringonpaiste nopeuttaa veden haihtumista betonirakenteen pinnasta, jolloin rakenne kuivuu liian nopeasti ja seurauksena voi olla plastista halkeilua. Vastaavasti talvella valuissa käytettävät lämmityslaitteet kasvattavat riskiä halkeilun syntymiselle. Lämmityslaitteilla nostetaan ympäröivää lämpötilaa ja samalla ne kuivattavat ympäröivää ilmaa, jolloin suhteellinen kosteus laskee ja ilmavirrat lisääntyvät. Ilmavirtaukset lisäävät kosteuden haihtumisnopeutta.

### 6.3 Sementin vaikutus kuivumiskutistumaan

Sementin valinnalla voidaan vaikuttaa betonin kuivumiskutistumaan välillisesti. (Betonitieto, n.d.) Betoni koostuu kiviaineksista sekä sementtipastasta. Sementtipastan osuudella on suurin vaikutus betonin kuivumiskutistumaan. Mitä pienempi määrä betonista on sementtipastaa, sitä pienempi kuivumiskutistuma on. Sementin karkeudella sekä eri sementtien seosainemäärillä on vaikutusta betonin kuivumiskutistumaan.

Lattiabetonien kannalta olennaista on, että valettava betoni on työstettävää. Myös betonin riittävä hiertoaika on tärkeä valettaessa betonilattiaa. Hienompaa sementtiä käytettäessä on mahdollista, että betonimassasta tulee haastavammin levitettävää. Vastaavasti taas, jos sementti on karkeampaa, vaatii massa enemmän hienoa runkoainetta, jottei betoni ole liian kivistä ja huonosti työstettävää.

Suomessa yleisimmin lattiabetoneissa käytetään portlandseossementtejä. (Suomen Betoniyhdistys 2018, 140) Portlandseossementit ovat sementtejä, jotka sisältävät klinkkerin lisäksi seosaineita, kuten esimerkiksi kalkkikiveä ja masuunikuonaa. Seosaineiden määrät riippuvat siitä, millaisia ominaisuuksia sementillä halutaan saavuttaa.

## 7 LABORATORIOKOKKEET JA TULOKSET

### 7.1 Laboratoriokokeet

Eco-betonin kuivumiskutistumaa tutkittiin palkkikokein. Koetta varten valmistettiin kolmea eri betonilaatua. Yksi tutkittavista betonilaaduista oli referenssitason lattiabetoni, jonka hiilidioksidipäästöt ovat tavallisen lattiabetonin tasolla. Kaksi muuta lattiabetonilaatua olivat GWP-luokituksen mukaisia eco<sup>TM</sup>-lattiabetoneita, joissa osa sementistä on korvattu masuunikuonalla. Betonin lujuusluokaksi valikoitui C30/37.

Kokeessa valmistettiin yhteensä kuusi kutistumapalkkia ja kahdeksantoista puristuslujuuskoekappaletta. Kolmeen puristuslujuuskoekappaleeseen sijoitettiin lämpötila-anturi seuraamaan lämmönkehitystä.

Kutistumapalkkimuotteina käytettiin Sweco Oy:n muotteja, jotka olivat mitoiltaan 500mm x 100mm x 100mm.



Kuva 2 GWP70 ja GWP85 kutistumapalkit muoteissa



Kaikista kolmesta betonilaadusta valettiin kaksi kutistumapalkkia ja kuusi puristuskoekappaletta, jotta saatiin kutistumapalkeista keskiarvot sekä voitiin seurata samalla puristuslujuuden kehittymistä ja lämpötilan muutoksia. Palkkimuotit täytettiin kahdessa osassa ja koekappalelieriöt kolmessa osassa. Palkit peitettiin muovilla heti valun jälkeen ja toimitettiin yhden vuorokauden iässä Swecolle purettavaksi ja säilytettäväksi. Kutistumapalkeja ei säilytetty vedessä, vaan ne sijoitettiin olosuhdehuoneeseen. Samaan aikaan puristuslujuuskoekappaleet purettiin Liedon betoniasemalla ja kuljetettiin säilytykseen Swerock Oy:n keskuslaboratorion vesialtaisiin.

Palkeista mitattiin kutistumat 2, 7, 14, 21, 28 ja 56 vuorokauden ikäisinä. Vastaavasti puristuslujuudet testattiin saman ikäisistä koekappaleista. Koekappaleiden lämpötilaa seurattiin yhteensä 56 päivää. Palkit säilytettiin olosuhdehuoneessa, jonka suhteellinen kosteus oli 50%, palkkien mittaukset suoritti ulkopuolinen mittaja. Mittausvälineenä on käytetty Sylvac digital dial indicatoria. Puristuslujuudet mitattiin Swerock Oy:n keskuslaboratoriolla Liedossa.

## 7.2 Tulokset

Palkeista mitattiin kutistumatulokset 2,7,14,21,28 ja 56 vuorokauden ikäisinä. Ensimmäistä, kahden päivän, mittaustulosta käytettiin lähtöarvona kutistuma tuloksiin, joista mitattiin palkkien pituuden muutokset. Kutistumapalkkien tulokset on ilmoitettu kahden palkin keskiarvona. Lämpötilat on mitattu samaan aikaan, kun koekappaleet puristettiin.

<b>Ref</b>	<b>C-lujuus</b>	<b>Pituuden muutos (mm/m)</b>	<b>Lämpötila</b>
2d	19,4	0,00	19,0
7d	28,1	0,129	17,4
14d	32,9	0,228	17,9
21d	35,6	0,312	17,0
28d	36,5	0,353	18,5
56d	39,2	0,495	19,5

Taulukko 2. Referenssitason tulokset.

<b>GWP85</b>	<b>C-lujuus</b>	<b>Pituuden muutos (mm/m)</b>	<b>Lämpötila</b>
2d	16,7	0,00	19,0
7d	28,0	0,155	17,3
14d	35,2	0,270	18,2
21d	39,7	0,356	17,2
28d	41,5	0,391	18,7
56d	45,5	0,509	19,6

Taulukko 3. GWP85 tulokset.

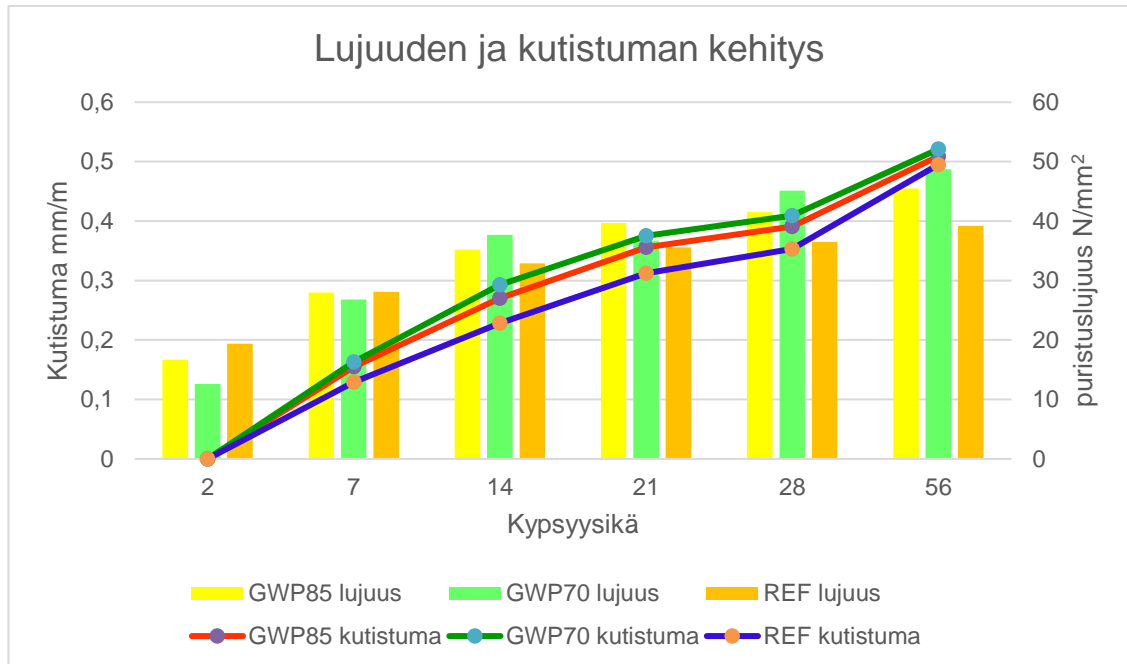
<b>GWP70</b>	<b>C-lujuus</b>	<b>Pituuden muutos (mm/m)</b>	<b>Lämpötila</b>
2d	12,6	0,00	19,0
7d	26,8	0,163	17,3
14d	37,7	0,293	18,1
21d	36,7	0,375	17,1
28d	45,1	0,409	18,7
56d	48,7	0,521	13,5

Taulukko 4. GWP70 tulokset.

Taulukoista 2, 3 ja 4 nähdään, että lopullinen kutistuma 56 vuorokauden iässä on kaikilla betonilaaduilla hyvin lähellä toisiaan. Suurin ero palkkien kutistumilla on 56 vuorokauden iässä, referenssitason ja GWP70-luokan betonilaaduilla. Kutistumapalkkien tuloksista voidaan myös huomata, että ekobetonien väliset kutistumaerot kulkevat koko 56 päivän ajan suhteellisen lähellä toisiaan.

Kaiken kaikkiaan suurin kutistuma on tapahtunut jokaisen betonilaadun kohdalla varhaisessa vaiheessa, eli 7 päivän aikana, jolloin kaikkien betonilaatujen kutistuma on ollut välillä 0,120...0,170 mm/m. Tämän jälkeen kutistuma on hidastunut. Referenssitason ja GWP70 välillä suurin kutistuma ero on ollut 14 vuorokauden kohdalla, jolloin ero on ollut 0,065‰. Vastaavasti referenssitason ja GWP85 tason välillä suurin ero on ollut 21 päivän kohdalla, kutistumaeron olleessa 0,044‰. Kokonaisuudessaan referenssitason kutistuma oli 0,495 mm/m, GWP85 kutistuma oli 0,509 mm/m ja GWP70 kutistuma oli 0,521 mm/m. Kaikki tulokset pysyivät raja-arvoissa. Kutistuman yleisesti määritetyt raja-arvot ovat yleensä 0,4...1,2 mm/m (Suomen Betoniyhdistys, 2018)

Puristuslujuudet ovat kehittyneet jokaisen betonilaadun kohdalla oletuksien mukaisesti. Referenssitason betonilla lujuuden kehitys on tasaista ja loppulujuus pysyy alhaisempana kuin ekobetoneilla. Ekobetonilaaduilla, joissa on käytetty sideaineena masuunikuonajauhetta, on tyypillistä, että varhaislujuudet ovat merkittävästi alhaisempia, sillä masuunikuona pidentää betonin sitoutumisaikaa. Taulukoista voidaan myös päätellä, että puristuslujuuden voimakkaampi kehittyminen ekobetoneilla on alkanut, kun kutistuma on alkanut hidastumaan. Kutistuman ja puristuslujuuden kehitys esitetty taulukossa 5.



Taulukko 5 Lujuuden ja kutistuman kehitys

Lämpötiloja seurattiin kolmesta puristuslujuuskappaleesta 56 päivän ajan. Taulukoissa 2,3 ja 4 on esitetty lämpötilat sillä hetkellä, kun koekappaleet on puristettu. Kaikkien koekappaleiden lämpötilat pysyivät koko seurannan ajan hyvin samassa lämpötilassa, kuin ympäröivien olosuhteiden lämpötila on ollut. Liitteestä 1. esitetään koko tutkimuksen aikaiset lämpötilakäyrät. Kyseisestä lämpötilaseurannasta voidaan huomata, että laboratoriossa, jossa koekappaleet sekä kutistumapalkit valmistettiin, on ollut huomattavasti lämpimämpi kuin keskuslaboratoriossa, jossa koekappaleet säilytettiin. Valmistuslaboratorion lämpötila on ollut noin 26 °C astetta, kun taas keskuslaboratorion lämpötila on koko mittauksen ajan ollut suunnilleen 19 °C astetta.

Lämpötilan seurannassa on kuitenkin huomioitava, että lämpötila-antureiden sijaintia on vaikea arvioida koekappaleessa, sillä sitä ei ole pystytty kiinnittämään jokaisen koekappaleen kohdalla täysin samaan kohtaan. Nyt on mahdollista, että anturi on sijainnut lähellä koekappaleen pintaa, jolloin se hyvin suurella todennäköisyydellä on sama kuin ympäröivä lämpötila. Lämpötila olisi hyvä mitata mahdollisimman keskeltä, sillä lämpötila ovat yleensä korkeampia.

## 8 PÄÄTELMÄT

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kahden ekolattiabetonilaadun kuivumiskutistumaa ja verrata sitä yhteen referenssitason lattiabetonilaadun kuivumiskutistumaan. Kokeet toteutettiin laboratorio-olosuhteissa, jolloin tulokset on saatu ympäristössä, joka olisi betonin kuivumisen kannalta paras mahdollinen. Laboratorio-olosuhteissa saatuja tuloksia voidaankin pitää siis vain suuntaa antavina. Jokaisen työmaan olosuhteet ovat erilaiset, joten mahdollinen kutistuma tulee arvioida työmaakohtaisesti. Tässä kuitenkin voidaan käyttää jatkossa apuna saatuja mittaustuloksia, joista tiedetään olosuhteiden tarkat tiedot.

Kutistumatuloksista olisi voitu saada mahdollisesti tarkempia ja eroavampia tuloksia, jos betonilaaduista olisi valmistettu useampi kutistumapalkki ja sijoitettu ne toisistaan hieman poikkeaviin olosuhteisiin. Näin olisi saatu samalla tietoa myös siitä, miten masuunikuonajauhetta sisältävien ekobetonien kutistuma kehittyy, kun olosuhteet eivät ole parhaimmat mahdolliset.

Yleisesti ekobetonilaatujen kypsyysikä mitataan vasta 91 vuorokauden iässä, joten kutistuman kehittymistäkin olisi voitu seurata yhtä pitkään. Tällöin olisi saatu lisää tietoa siitä, miten lujuuden kehitys ja kutistuma kehittyvät suhteessa toisiinsa pidemmällä seuranta-ajalla. Ja onko masuunikuonalla mahdollisesti vaikutusta pidemmän ajan kutistumaan, niin kuin sillä on vaikutusta lujuuden kehitykseen kypsyysiän kasvaessa.

Tutkittujen betonimassojen raekoko oli kaikissa sama eli 16 mm, samoin kuin notkeus oli kaikilla massoilla luokassa S3, 100-150 mm. Nyt tehtyjen kokeiden perusteella notkeuden vaikutusta betonin kutistumaan ei ole mahdollista arvioida suoraan sen tarkemmin. Jos kutistumakokeet olisi tehty suuremmalla raekoolla, olisi massan sementtipastan määrä vähentynyt, joten sillä olisi saattanut olla positiivisia vaikutuksia kutistuma-arvojen lopputulokseen.

## Lähteet

Betonitieto. (n.d.) *Betoni rakennusmateriaalina*. Viitattu 3-1-2023

<https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/>

Betonitieto. (n.d.) *Kiviaines*. Viitattu 3-1-2023

<https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-valmistus/betonin-osa-aineet/kiviaines.html>

Betonitieto. (n.d.) *Kuivumiskutistuma*. Viitattu 24-2-2023

<https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-ominaisuudet-ja-valinta/kovettuneen-betonin-ominaisuudet/kuivumiskutistuma.html>

Betonitieto. (n.d.) *Kutistuma*. Viitattu 12-1-2023

<https://www.betonitieto.fi/suunnittelijat/betonirakenteiden-suunnittelu-talonrakentaminen/betonirakenteiden-suunnitteluperusteet/materiaaliominaisuudet/betonin-perusominaisuudet/kutistuma.html>

Betonitieto. (n.d.) *Lisäaineet*. Viitattu 30-1-2023

<https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-valmistus/betonin-osa-aineet/lisaaineet.html>

Betonitieto. (n.d.) *Portlandseossementit, CEM II*. Viitattu 2-3-2023

<https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto/portlandseossementit-cem-ii.html>

Betonitieto. (n.d.) *Sementti*. Viitattu 30-01-2023.

<https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/valmisbetoni/betonin-valmistus/betonin-osa-aineet-ja-niiden-kasittely/betonin-osa-aineet/sementti.html>

Betonitieto. (n.d.) *Seosaineet*. Viitattu 30-1-2023.

<https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-valmistus/betonin-osa-aineet/seosaineet.html>

Betonitieto. (n.d.) *Vesi*. Viitattu 6-2-2023

<https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-valmistus/betonin-osa-aineet/vesi.html>

- Betonitieto. (n.d.) *Vähähiilinen-betoni*. Viitattu 23-2-2023  
<https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto/vahahiilinen-betoni.html>
- BY 201, 2018. by 201 Betonitekniiikan oppikirja. Helsinki 2018. Suomen betoniyhdistys
- BY-Vähähiilisyysluokitus. 6–2022. *Osa 3 Käyttöohje betonin valmistajalle*. Viitattu 23-02-2023 [https://vahahiilinenbetoni.fi/wp-content/uploads/2022/06/by\\_vahahiilisyysluokitus\\_osa3-2705.pdf](https://vahahiilinenbetoni.fi/wp-content/uploads/2022/06/by_vahahiilisyysluokitus_osa3-2705.pdf)
- BY Vähähiilisyysluokitus. (n.d.) *Menetelmä betonin CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämisen ilmoittamiseksi*. Viitattu 30-12-2022 <https://vahahiilinenbetoni.fi/>
- Eurooppa-neuvosto. (n.d.) *Ilmastoneutraalius*. Viitattu 30-12-2022  
<https://vnk.fi/suomen-eu-politiikka/eu-ilmastopaketti>
- Finnsementti. (n.d.) *Sementin valmistus*. Viitattu 31-1-2023  
<https://finnsementti.fi/palvelut/tietoa-sementista/valmistus/>
- Hirschi, T., Knauber, H., Lanz, M., Schlumpf, J., Scharaback, J., Spring, C. & Waeber, U. (2020). *Sika Concrete Handbook*. Sika
- Lahdensivu, J., Köliö, A., Pakkala, T., Kylliäinen, M., Lietzèn, J. 2019. Betonirakentamisen laatuohjeet 2019 by47. Suomen Betoniyhdistys.
- Lahdensivu, J. 2022. *Vähähiilisen betonin mahdollisuudet asuinkerrostalon hiilijalanjäljen pienentämisessä*. Betoni
- Kuula, P. 2018. Betonin kiviainekset 2018 by 43. Suomen Betoniyhdistys ry
- Lumme P. 2018. Betonilattiat 2018 by45 bly7. Suomen Betoniyhdistys ry
- Merikallio, T., Johansson, K., Mannonen, R., Petrow. S. 2016. Betonin kutistuman ja halkeilun hallinta 2016 by67. Suomen Betoniyhdistys ry
- Pacheco-Torgal, F., Jalali, S., Labrincha, J. & John, V. M. (2013). *Eco-Efficient Concrete*. Elsevier Science & Technology
- SFS-EN 1008 (2002) *Betonin valmistukseen käytettävä vesi. Näytteenotto, testaus ja veden soveltuvuuden arviointi betonin valmistukseen, mukaan lukien betoniteollisuuden prosesseista talteen otettu vesi*. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS

SFS-EN 1992-1-1 +A1+AC. 2015. *Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt*. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto SFS

SFS-EN 15167-1. 2006. *Betoniin, laastiin ja juotoslaastiin käytettävä jauhettu granuloitu masuunikuona. Osa 1: Määritelmät, määrittely ja vaatimustenmukaisuus*. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto SFS

SFS-EN 197-1. 2012. *Sementti. Osa 1: Tavallisten sementtien koostumus, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuus*. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto SFS

Swerock Oy. 2-2022. *ECO-Betoni esite*. Viitattu 27-02-2023.

<https://swerock.fi/siteassets/swerock---betoni/eco-betoni/swerock-eco-betoni-esite-helmikuu-2022.pdf>

Tekeville. Viitattu 27-02-2023. <http://www.tekeville.fi/ilmankosteus>

Tikkanen, J., Johansson, K., Kihula, J., Mantila, A., Punkki, J., Paukku, E., & Ruuth, J. (2021). *Betoninormit 2021*. Suomen Betoniyhdistys.

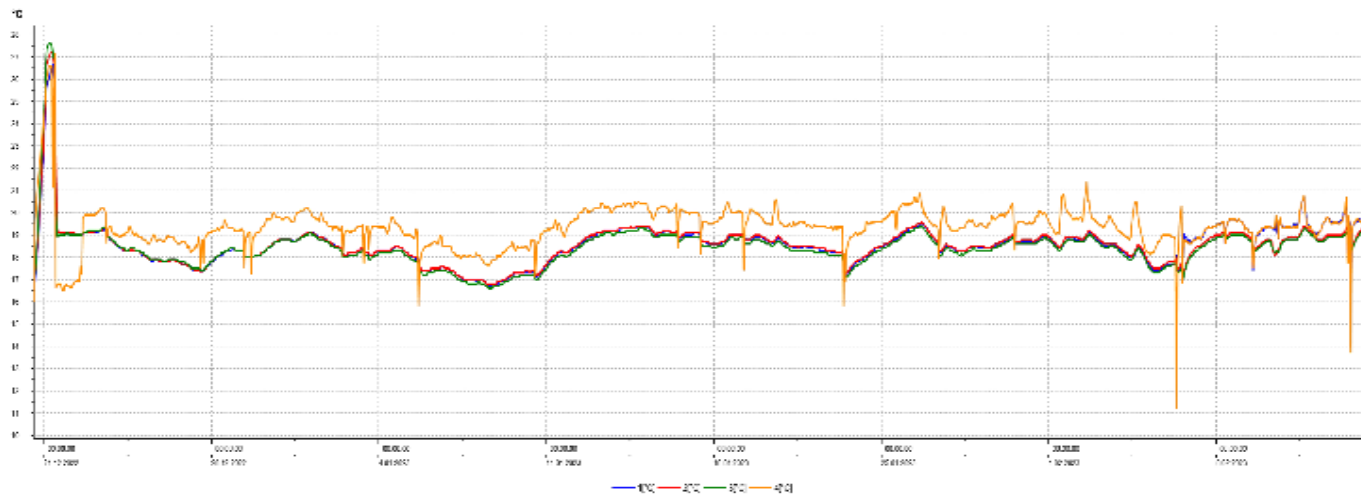
Lämmityspotentiaali. Viitattu 17-3-2023

<https://fi.wikipedia.org/wiki/L%C3%A4mmityspotentiaali>



# Liite 1: Lämpötilaraportti

Instrument name: Swerock Oy		14.2.2023 12.31.18			Page	1/1
Start time: 20.12.2022 14.04.12		Minimum	Maximum	Mean value	Limit values	
End time: 14.2.2023 12.04.12	1 [°C]	13,5	26,7	18,583	-195,0/1000,0	
Measurement channels: 4	2 [°C]	16,8	27,2	18,548	-195,0/1000,0	
Measured values: 1343	3 [°C]	16,6	27,6	18,434	-195,0/1000,0	
SN 40714919	4 [°C]	10,7	27,2	19,376	-195,0/1000,0	



- GWP70
- GWP85
- REF
- Ulkoilma